

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 3 月 2 0 日

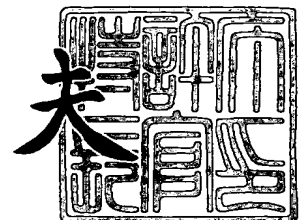
出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 0 7 7 3 4 6
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 7 7 3 4 6]

出 願 人
Applicant(s): T D K 株式会社

2 0 0 4 年 2 月 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 7 1 2 2

【書類名】 特許願

【整理番号】 99P05146

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/13

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 花島 直樹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 及川 亨

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 持田 励雄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 木練 透

【特許出願人】

【識別番号】 000003067

【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100101971

【弁理士】

【氏名又は名称】 大畑 敏朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100098279

【弁理士】

【氏名又は名称】 栗原 聖

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 080736

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波路の製造方法および光導波路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上または第 1 のクラッド層上にコア層を形成する工程と

、
前記コア層上にマスキング層を形成する工程と、

前記マスキング層上にフォトリジスト膜を形成する工程と、

フォトマスクを用いて前記フォトリジスト膜をパターンニングする工程と、

パターンニングされた前記フォトリジスト膜を用いて前記マスキング層を所望のコアの幅よりも幅広くパターンニングする工程と、

パターンニングされた前記マスキング層を用いて前記コア層をパターンニングしてコアを形成した後に前記マスキング層を除去する工程と、

パターンニングされた前記コアを被覆するようにして前記第 1 のクラッド層上に第 2 のクラッド層を形成する工程とを有することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項 2】 パターンニングされた前記マスキング層の幅は、このマスキング層を用いて前記コアを形成したときに細くなった当該コアの幅が所望のコアの幅となる幅であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 3】 前記コアがギャップを挟んで配置されている場合においては、前記パターンニングされたマスキング層の幅の中心位置が前記コアの幅の中心位置よりも前記ギャップから遠くなるように前記マスキング層をパターンニングすることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 4】 前記マスキング層は、前記フォトリジスト膜をパターンニングする際に用いるフォトマスクのマスクパターン、前記フォトリジスト膜をパターンニングする際のパターン形成条件、または前記マスキング層をパターンニングする際のパターン形成条件、の少なくとも何れか 1 つの条件で前記所望のコアの幅よりも幅広くパターンニングされることを特徴とする請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の光導波路の製造方法。

【請求項 5】 前記マスキング層および前記コア層のパターンニングは反応ガ

スの化学反応を用いた反応性イオンエッチングにより行われることを特徴とする請求項 1～4 の何れか一項に記載の光導波路の製造方法。

【請求項 6】 前記所望のコアの幅は、比屈折率差が 0.3 % のときには $8\ \mu\text{m}$ 、比屈折率差が 0.4 % のときには $7\ \mu\text{m}$ 、比屈折率差が 0.7 % のときには $6\ \mu\text{m}$ 、比屈折率差が 1.0 % のときには $5\ \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1～5 の何れか一項に記載の光導波路の製造方法。

【請求項 7】 前記マスキング層の幅は、前記所望のコアの幅が $7\sim 8\ \mu\text{m}$ のときにはこの幅よりも $1.2\sim 1.4\ \mu\text{m}$ 広くした幅であることを特徴とする請求項 1～6 の何れか一項に記載の光導波路の製造方法。

【請求項 8】 少なくともコアとクラッドからなる光導波路であって、
前記コアはフォトマスクを用いてパターンニングされ、
前記フォトマスクの前記コアに対応する部分のパターン幅は前記コアの幅よりも大きいことを特徴とする光導波路。

【請求項 9】 前記パターン幅は前記コア幅よりも $0.5\ \mu\text{m}$ 以上大きいことを特徴とする請求項 8 記載の光導波路。

【請求項 10】 少なくともコアとクラッドからなる光導波路であって、
前記コアの屈折率を n_{core} 、前記クラッドの屈折率を n_{clad} とし、導波路のカットオフ波長を λ としたとき、
前記コアの幅 d が、

$$d < 1.45 \lambda / (2 (\sqrt{(n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2)}))$$
であり、

かつ前記コアをパターンニングするマスキング層の対応する部分の幅 M が、
$$M > 1.45 \lambda / (2 (\sqrt{(n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2)}))$$
であることを特徴とする光導波路。

【請求項 11】 前記カットオフ波長は使用波長の 80 %～90 % であることを特徴とする請求項 10 記載の光導波路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光導波路の製造方法に関し、特に光導波路を構成するコアの形成に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光通信システムの発展に伴い、光部品の集積化、高機能化が求められているなか、プレーナプロセスを用いて製造される導波路型の光部品は上記要求を低価格で実現するものとして期待されている。なかでも、石英系材料を用いた光導波路は、高信頼性および低損失性を備えること、同じく石英で作製される光ファイバとの相性が良いことから、広く用いられている。

【0003】

光導波路は、基板上に形成された屈折率が相対的に高いコアと、それを取り囲む屈折率の低い領域であるクラッドとからなり、光は両者の屈折率の違いによってコア中に閉じこめられて伝搬される。なお、コアとクラッドの屈折率差およびコアの大きさは、コアの伝搬光が光ファイバの光が低損失で結合されるように設計される。

【0004】

ここで、一般的な石英系導波路の作製方法は、石英基板あるいはシリコン基板上に火炎堆積法（FHD）、化学気相蒸着法（CVD）、スパッタ法などの方法で、下部クラッド層とコア層をこの順に全面に成膜する。次に、メタルマスクを上記の成膜方法で、さらにその上にフォトレジストを塗布などの方法で作製する。

【0005】

そして、フォトリソグラフィの技術に従い、フォトマスクを用いてフォトレジストを露光、現像してフォトレジストの導波路パターンを形成する。次に、コア層のみを所望のレイアウトにパターニングするために、まずフォトレジストをエッチングマスクとしてメタルマスクをエッチングした後にフォトレジストを除去し、次いでメタルマスクをエッチングマスクとしてコア層をエッチングし、断面が略矩形の導波路コアを作製する。これらエッチングには反応性イオンエッチング（RIE）などの方法を用いることができる。最後に上部クラッド層を全面に

成膜し、導波路構造とする。そして、上記プロセス中に膜中に含まれる水分や内部応力を除去するために、熱処理が加えられて光導波路が完成する。

【0006】

光導波路を伝搬する光はコア近傍の屈折率分布に大きく影響される。たとえば、前述した導波路の作製プロセスでのコア形成時にエッチングによる残渣が付着すると伝搬損失が大きくなることから、これを極力抑制するように決められる。

【0007】

ここで、光導波路の製造方法として、特開平7-77619号公報には、所定パターンのチャンネル導波路を火炎堆積法で上部クラッド層に埋め込むに先立ち、チャンネル導波路に加熱処理を施して、フォトリソグラフィとエッチング時に発生した側面の微細凹凸や変質層を消滅させ、光の伝搬損失を低減する技術が開示されている。

【0008】

また、光導波路の他の製造方法として、特開2000-75157号公報には回折格子形成領域上とそれ以外の領域上でコア幅を等しくする技術が、特開平10-10347号公報にはエッチング条件によりコア幅を制御する技術が開示されている。

【0009】

【特許文献1】

特開平7-77619号公報

【0010】

【特許文献2】

特開2000-75157号公報

【0011】

【特許文献3】

特開平10-10347号公報

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

エッチングのメカニズムは、アルゴンなどの不活性イオンをエッチング対象物

に衝突させ吹き飛ばす「物理的エッチング」と呼ばれるものと、エッチング対象物を反応ガスの化学反応を用いて気化させる「化学的エッチング」と呼ばれる２種類に大別される。物理的エッチングでは衝突するイオン束の方向が比較的揃っていることから、エッチング時には基板面に垂直な方向にはエッチングが大きく進み、平行な方向にはあまり進まない、つまり異方性が大きい、その分吹き飛ばした残渣がエッチング対象物の周囲に付着しやすいという問題がある。

【 0 0 1 3 】

また、前記イオン束のエネルギーが大きいため、エッチングでのマスキング層の耐性も問題になり、例えばパターンされたマスキング層の垂直性が悪く台形状であるとエッチング終了時でのマスキング層の幅が小さくなり、その下にあるパターン幅も必然的に小さくなる。

【 0 0 1 4 】

反面、化学的エッチングでは残渣は付着しにくい、エッチングの異方性が小さいために、エッチングの深さが深くなるとその分だけ横方向のエッチングも進んでしまう。なお、本明細書において深さ方向とは積層方向を指し、横方向とはこの積層方向に直交する方向を指す。

【 0 0 1 5 】

光導波路作製においては、エッチング残渣の付着を抑制するために、化学的エッチングが優勢となるような条件でエッチングを行うことが好ましいものの、横方向のエッチング量が比較的大きくなることから、コアのパターニングに際してコア幅が予想したよりも細くなって設計した導波路形状で作製されず、結合損失が大きくなって所期の光学特性が得られないという問題があった。

【 0 0 1 6 】

そして、チャネル導波路つまりコアの側面の微細凹凸等を除去して伝搬損失を低減する特開平 7 - 7 7 6 1 9 号公報に記載の技術では、コア幅の細りによる結合損失の増加に対する配慮はなされていない。また、コアの幅をその形成領域を問わず等しく形成する特開 2 0 0 0 - 7 5 1 5 7 号公報に記載の技術では、コア幅を設計値通りにするための考察はなされていない。さらに、特開平 1 0 - 1 0 3 4 7 号公報に記載のようなエッチング条件によりコア幅を制御する技術より簡

便にコア幅を制御できれば、製造が容易になって望ましい。

【0017】

ここで、本発明者によって、コア形成時における横方向および深さ方向のエッチング量はエッチングを行う領域の大きさに依存して変化することが見出された。つまり、ギャップを挟んで隣接した2つのコアが存在するような導波路では、コアのギャップ側と反対側とでエッチング深さと横方向へのエッチング量が異なってしまう、設計した導波路形状で作製されず、予定した光学特性が得られないという問題があった。

【0018】

そこで、本発明は、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することのできる光導波路の製造方法を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明に係る光導波路の製造方法は、基板上または第1のクラッド層上にコア層を形成する工程と、前記コア層上にマスクング層を形成する工程と、前記マスクング層上にフォトリソ膜を形成する工程と、フォトリソ膜を用いて前記フォトリソ膜をパターニングする工程と、パターニングされた前記フォトリソ膜を用いて前記マスクング層を所望のコアの幅よりも幅広くパターニングする工程と、パターニングされた前記マスクング層を用いて前記コア層をパターニングしてコアを形成した後に前記マスクング層を除去する工程と、パターニングされた前記コアを被覆するようにして前記第1のクラッド層上に第2のクラッド層を形成する工程とを有することを特徴とする。

【0020】

このような発明によれば、マスクング層を所望のコア幅よりも広く形成してエッチングによるコア幅の細りを補正しているので、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0021】

本発明の好ましい形態において、パターニングされた前記マスクング層の幅は

、このマスクング層を用いて前記コアを形成したときに細くなった当該コアの幅が所望のコアの幅となる幅である。

【0022】

これにより、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0023】

本発明のさらに好ましい形態において、前記コアがギャップを挟んで配置されている場合においては、前記パターンニングされたマスクング層の幅の中心位置が前記コアの幅の中心位置よりも前記ギャップから遠くなるように前記マスクング層をパターンニングする。

【0024】

これにより、ギャップを挟んで隣接した2つのコアが存在する場合でも、エッチング残渣を抑制しつつコア幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0025】

本発明のさらに好ましい形態において、前記マスクング層は、前記フォトレジスト膜をパターンニングする際に用いるフォトマスクのマスクパターン、前記フォトレジスト膜をパターンニングする際のパターン形成条件、または前記マスクング層をパターンニングする際のパターン形成条件、の少なくとも何れか1つの条件で前記所望のコアの幅よりも幅広くパターンニングされる。

【0026】

これにより、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0027】

本発明のさらに好ましい形態において、前記マスクング層および前記コア層のパターンニングは反応ガスの化学反応を用いた反応性イオンエッチングにより行われる。

【0028】

これにより、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【 0 0 2 9 】

本発明のさらに好ましい形態において、前記所望のコアの幅は、比屈折率差が 0. 3 % のときには $8 \mu\text{m}$ 、比屈折率差が 0. 4 % のときには $7 \mu\text{m}$ 、比屈折率差が 0. 7 % のときには $6 \mu\text{m}$ 、比屈折率差が 1. 0 % のときには $5 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 3 0 】

これにより、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【 0 0 3 1 】

本発明のさらに好ましい形態において、前記マスキング層の幅は、前記所望のコアの幅が $7 \sim 8 \mu\text{m}$ のときにはこの幅よりも $1. 2 \sim 1. 4 \mu\text{m}$ 広くした幅である。

【 0 0 3 2 】

これにより、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【 0 0 3 3 】

上記課題を解決するため、本発明に係る光導波路は、少なくともコアとクラッドからなる光導波路であって、前記コアはフォトマスクを用いてパターンニングされ、前記フォトマスクの前記コアに対応する部分のパターン幅は前記コアの幅よりも大きいことを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

このような発明によれば、エッチングによるコア幅の細りがフォトマスクで補正されるので、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【 0 0 3 5 】

本発明の好ましい形態において、前記パターン幅は前記コア幅よりも $0. 5 \mu\text{m}$ 以上大きくなっている。

【 0 0 3 6 】

これにより、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の

寸法に形成することが可能になる。

【0037】

上記課題を解決するため、本発明に係る光導波路は、少なくともコアとクラッドからなる光導波路であって、前記コアの屈折率を n_{core} 、前記クラッドの屈折率を n_{clad} とし、導波路のカットオフ波長を λ としたとき、前記コアの幅 d が、 $d < 1.45\lambda / (2(\sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}))$ であり、かつ前記コアをパターンニングするマスキング層の対応する部分の幅 M が、 $M > 1.45\lambda / (2(\sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}))$ であることを特徴とする。

【0038】

このような発明によれば、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0039】

本発明の好ましい形態において、前記カットオフ波長は使用波長の 80%～90% である。

【0040】

これにより、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0041】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しつつさらに具体的に説明する。ここで、添付図面において同一の部材には同一の符号を付しており、また、重複した説明は省略されている。なお、発明の実施の形態は、本発明が実施される特に有用な形態としてのものであり、本発明がその実施の形態に限定されるものではない。

【0042】

図1は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の一工程を示す断面図、図2は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図1に続く工程を示す断面図、図3は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図2に続く

工程を示す断面図、図4は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図3に続く工程を示す断面図、図5は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図4に続く工程を示す断面図、図6は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図5に続く工程を示す断面図、図7は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図6に続く工程を示す断面図、図8は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図7に続く工程を示す断面図、図9は本発明者が検討対象としたマスキング層とこれによりエッチングされたコアとを示す断面図、図10は本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法におけるマスキング層とこれによりエッチングされたコアとを示す断面図、図11は2つのコアにより形成されるギャップとコアの線幅との関係を示すグラフ、図12は分岐したコアとマスキング層との関係を示す説明図、図13は本発明の他の実施形態である光導波路の製造方法におけるマスキング層とこれによりエッチングされたコアとを示す断面図、図14は2種類のカットオフ波長に対する比屈折率差とコアの幅・高さとの関係を示すグラフ、図15は3次元チャンネル光導波路の分散特性を示すグラフである。

【0043】

先ず、本実施の形態における光導波路製造方法の一連のプロセスについて、石英系の光導波路を例にとって説明する。但し、基板としては石英ではなくシリコンなど他のものを用いることもできる。

【0044】

先ず、石英の基板11上にノンドープの石英ガラスからなる下部クラッド層（第1のクラッド層）12をCVDにて5 μ mの厚さ（シリコン基板の場合は15 μ mの厚さ）に成膜する。ここでの反応原料には、TEOS（テトラエトキシオルソシリケート）と酸素の混合ガスが用いられる。次に、この混合ガスにTMG（テトラメトキシボレート）が加えられてゲルマニウムがドープされたコア層13を7 μ mの厚さに成膜した後、1100℃、3時間の熱処理を行う。さらにその上に、パターニング用のメタルマスク層（マスキング層）14としてWSi（タングステンシリサイド）をスパッタリングで700nmの厚さに成膜した後、フォトレジストを塗布してフォトレジスト膜15を形成する。これにより、図1

に示す積層体が形成される。

【0045】

次に、図2に示すように、フォトリソグラフィ技術により、フォトマスク16を用いて紫外光で露光した後に現像して、図3に示すフォトレジスト膜15のパターニングを行なう。なお、図示する場合には、ポジ型のフォトレジストが用いられているが、ネガ型を用いてもよい。

【0046】

先ずRIE（反応性イオンエッチング）装置で、エッチングガスとして CF_4 と SF_6 を使用し、図4に示すように、パターニングされたフォトレジスト膜15を用いてメタルマスク層14をパターニングする。RIE（反応性イオンエッチング）は常に物理的、化学的エッチング反応が共存しており、作製条件によって両者のバランスを変えることで最適化を図ることが可能である。そして、メタルマスク層14のパターニング後、図5に示すように、酸素プラズマアッシングでフォトレジスト膜15を除去する。

【0047】

次に、パターニングされたメタルマスク層14により、RIEにて CHF_3 と CH_4 との混合ガスを用いてコア層13をエッチングでパターニングしてコア13aを形成し（図6）、その後 SF_6 ガスを用いてメタルマスク層14を除去する（図7）。

【0048】

最後に、図8に示すように、パターニングされたコア13aを被覆するようにして下部クラッド層12上に上部クラッド層（第2のクラッド層）17を形成し、光導波路が完成する。なお、上部クラッド層17には、相互に隣接したコアパターンでのクラッドの埋め込み被覆性を良好にするために、ノンドープの石英よりも低温で軟化可能なBPSG（ボロンと磷がドープされた石英ガラス）が用いられる。そして、これを成膜するために、CVD装置にて、TEOSと酸素ガスの他にTMB（テトラメトキシボロン）、TMP（テトラメトキシ磷）を加えて、BPSGを $30\mu\text{m}$ の厚さに堆積した後、最後に軟化リフローおよび応力緩和などの目的で 1100°C 、24時間の熱処理を行う。

【0049】

さて、以上説明したように、本実施の形態では、反応ガスを用いた化学的エッチングにより光導波路が製造される。なお、図9、図10、図13において、エッチング前の状態のコア層13およびメタルマスク層14を破線で示し、エッチング後のコア13aおよびメタルマスク層14をハッチング付きの実線で示している。前述のように、化学的エッチングでは異方性が抑制されてエッチング残渣の付着が少ないという利点があるものの、図9に示すように、エッチングの深さが深くなるとその分だけ横方向のエッチングも進んでしまうことから、パターニングされたコア13aの幅が、図9において一点鎖線で示す設計上のコア幅よりも細くなってしまう。具体的には、エッチング深さが7～8 μ mでは横方向に1.2～1.4 μ m程度、エッチング深さが28 μ mでは横方向に7.0～8.8 μ m程度、エッチング深さが40 μ mでは横方向に9.8～11.0 μ m程度エッチングが進む。

【0050】

そこで、パターニングされたフォトリソ膜15を用いてメタルマスク層14をパターニングする際、メタルマスク層14の幅を設計上のつまり所望のコア幅と等しくするのではなく、図10に示すように、所望の幅のコアよりも幅広くパターニングする。具体的には、例えば所望のコアの断面寸法が7～8 μ m角、つまりコア幅が7～8 μ mの場合には、前述のように横方向に1.2～1.4 μ m程度エッチングが進むことから、メタルマスク層14の幅を8.2～8.4 μ m（コア幅7 μ m）または9.2～9.4 μ m（コア幅8 μ m）にパターニングする。同様に、所望のコア幅が28 μ m角の場合には35.0～36.8 μ mに、所望のコア幅が40 μ mのときには49.8～51.0 μ mにパターニングする。つまり、メタルマスク層14の幅は、所望のコアの幅に対して1.0 μ m以上大きいことが好ましく、実際の製造精度つまり寸法誤差等を考慮すると0.5 μ m以上大きいことがより好ましい。

【0051】

なお、以下に説明する場合を含め、メタルマスク層14の幅は、フォトマスク16のマスクパターンにより前述の幅にパターニングすることができる。但し、

フォトレジスト膜 15 をパターンニングする際のパターン形成条件やメタルマスク層 14 をパターンニングする際のパターン形成条件を制御して前述の幅にパターンニングしてもよく、これら 3 つの条件の内の 2 つあるいは全部を併用してパターンニングしてもよい。

【0052】

このようにメタルマスク層 14 の幅を所望のコア幅よりも広くパターンニングすることにより、当該メタルマスク層 14 を用いてコア層 13 をパターンニングすれば、図示するように、所望の幅（例えばメタルマスク層 14 の幅を $8.2 \sim 8.4 \mu\text{m}$ として $7 \mu\text{m}$ 幅）のコア 13 a を形成することができる。

【0053】

次に、本明細書でいう「所望のコア幅」について説明する。光導波路の伝搬特性は、コア 13 a とクラッド 12, 17 の屈折率差（あるいは比屈折率差 $\Delta = (n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}) / n_{\text{clad}}$ ）およびコア 13 a の大きさ（幅方向の断面における高さや幅）によって決まる。

【0054】

そして、通常のシングルモード光ファイバに接続して使用される光導波路では、接続の際の結合損失を考慮して光導波路もシングルモードとなるように設計される。屈折率差が大きい場合、シングルモードとなるためにはコア 13 a のサイズを小さくする必要があるが、あまり小さくしすぎると光ファイバとの接続性が悪くなるという問題が生じる。一方、コア 13 a の曲がり部分での伝搬損失は屈折率差を小さくすると増加してしまうので、導波路デバイスの小型化のためにパターンの最小曲率半径を小さくすればするほど損失が大きくなる。

【0055】

そこで、矩形型のチャンネル導波路の場合、これらの関係を考慮し、コア寸法と屈折率差を表 1 に示す組み合わせとすることが多い。

【表 1】

コアの高さ・幅 (μm)	比屈折率差 (%)	光ファイバとの 結合損失 (dB)	許容曲げ半径 (mm)
8	0.3	0	25
7	0.4	0.1	17
6	0.7	0.3	7
5	1.0	1.2	3

【0056】

これらは、各々の場合で、結合損失や許容曲げ半径が異なりメリット・デメリットがあるが特性的には概ね許容できる範囲とされる。したがって、比屈折率差により設計上のコア幅が分かる。つまり、コア 13a とクラッド 12, 17 とから算出される比屈折率差が 0.3% のときには設計上のコア幅は $8\mu\text{m}$ 、1.0 のときには $5\mu\text{m}$ となる。そこで、本明細書でいう「所望のコア幅」とは比屈折率差から導き出された表 1 に例示されるようなコア幅をいう。

【0057】

このように、本実施の形態によれば、メタルマスク層 14 を所望のコア幅よりも広く形成してエッチングによるコア幅の細りを補正しているので、光導波路のコア 13a を、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。そして、これにより、光の伝搬損失および結合損失の双方を低減することができる。

【0058】

ここで、2つのコアにより形成されるギャップとコアの線幅との関係を図 11 に示す。

【0059】

図 11 に示すように、コアの線細りは $1.0 \sim 1.8\mu\text{m}$ であり、ギャップ幅が小さいほど線細りの量は小さくなることがわかる。

【0060】

一般的な光導波路のレイアウトにおいては、ギャップを挟んで隣接したコアパターンは分岐部分や隣接した導波路の結合を利用したりする場合にのみ用いられる。そして、孤立したコアパターンは図中のギャップ $8\ \mu\text{m}$ 以上に相当し、この場合の線細りは $1\ \mu\text{m}$ 以上となっている。また、ギャップ部分の幅は作製再現性やコア形成後に上部クラッド 17 で埋め込む必要があるために最小でも $2\ \mu\text{m}$ 程度とする必要がある。この場合の線細りは $0\sim 0.6\ \mu\text{m}$ である。

【0061】

そこで、図 12 および図 13 に示すように、コア 13a の分岐点においては、メタルマスク層 14 の幅方向の中心位置 C1 がコア 13a の幅方向の中心位置 C2 よりも 2 つのコア 13a で形成されるギャップ G から遠くなるようにして（図 12 に示す場合には、中心位置 C1 と中心位置 C2 との距離が $0.2\ \mu\text{m}$ になるようにして）、メタルマスク層 14 をパターンニングする。

【0062】

これにより、図 13 に示すように、ギャップ G を挟んで隣接した 2 つのコア 13a が存在する場合でも、エッチング残渣を抑制しつつコア幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0063】

なお、図 12 に示す数値は一例であり、本発明がこれに限定されるものではないことはもちろんである。

【0064】

さて、3次元チャンネル導波路のシングルモード条件は、よく知られた規格化周波数と規格化伝搬定数のグラフより導き出すことができ、コアの形状が略正方形である場合、 $2d/\lambda \cdot (\sqrt{(n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2)}) < 1.45$ となる。 λ は 1 次モードのカットオフ波長である。そして、コア n_{core} とクラッド n_{clad} の屈折率とカットオフ波長から、コアの幅 d （正方形形状のコアとしている場合には幅 d = 高さ）が求まる。2種類のカットオフ波長に対する計算結果に基づいた比屈折率差とコアの幅・高さとの関係を図 14 に示す。

【0065】

ここで、3次元チャンネル光導波路の分散特性を図15に示す。図中の n_1 、 n_2 は各々コア、クラッドであって、 E_{ij} は導波路中を伝搬する各モードを表している。

【0066】

横軸は次式で与えられる規格化周波数 V を π で除した数である。

【0067】

$$V = 2\pi d \sqrt{(n_{core}^2 - n_{clad}^2)} / \lambda$$

【0068】

また、縦軸は、モードの伝搬定数を β としたとき、次式で与えられる規格化伝搬定数 B である。

【0069】

$$B = (\beta^2 - n_{clad}^2 k^2) / (n_{core}^2 k^2 - n_{clad}^2 k^2)$$

【0070】

図中の線は、ある周波数での導波路を伝搬するモードの伝搬定数がいくつであるかを計算した図であって、実線、破線などの違いは、モード計算での種々の近似での値を示している。 x 、 y の添え字は偏波面の違いであって、図のように周囲のクラッドが対称で略正方形形状のコアの場合には x 、 y の曲線はほぼ一致する。

【0071】

伝搬定数が0となる周波数のことをカットオフ周波数と呼び、これより下の周波数ではそのモードは伝搬できない。そして、シングルモード導波路であるためには0次のモードのみが伝搬する状態であるので、1次のモードがカットオフとなる $V/\pi = 1.4 \sim 1.6$ (Typ: 1.45) 以下である必要がある。よって、前述のように、3次元チャンネル導波路のシングルモード条件が、 $2d/\lambda \cdot (\sqrt{(n_{core}^2 - n_{clad}^2)}) < 1.45$ と導かれる。

【0072】

したがって、コア13aが所望の幅 d となるには、上式より、 $d < 1.45 \lambda / (2 (\sqrt{(n_{core}^2 - n_{clad}^2)}))$ を満たせばよい。また、コア

13aをパターンニングするメタルマスク層14の対応する部分の幅Mはコア幅dよりも広くなることから、 $M > 1.45\lambda / (2(\sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}))$ となる。

【0073】

なお、光導波路がシングルモードとなるためには、カットオフ波長が使用する波長よりも小さくなる必要があり、実際の製造プロセスのばらつきを考慮すると使用波長の80%～90%となるようにするのが好ましい。比屈折率差は大きいほど導波路の最小許容曲げ半径が小さくなるため好ましく、また幅・高さはファイバとの結合損失を考えると6～8μm程度が好ましい。

【0074】

これらの関係から、使用波長1310nmのときコアの高さ・幅と比屈折率差の組み合わせは、例えば前述した表1のようになる。

【0075】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によれば以下の効果を奏することができる。

【0076】

すなわち、マスキング層を所望のコア幅よりも広く形成してエッチングによるコア幅の細りを補正しているので、光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成することが可能になる。

【0077】

このようにエッチング残渣を抑制しつつコア幅を所望の寸法に形成できることから、光の伝搬損失および結合損失の双方を低減することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の一工程を示す断面図である。

【図2】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図1に続く工程を示す断面

図である。

【図 3】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図 2 に続く工程を示す断面図である。

【図 4】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図 3 に続く工程を示す断面図である。

【図 5】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図 4 に続く工程を示す断面図である。

【図 6】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図 5 に続く工程を示す断面図である。

【図 7】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図 6 に続く工程を示す断面図である。

【図 8】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法の図 7 に続く工程を示す断面図である。

【図 9】

本発明者が検討対象としたマスクング層とこれによりエッチングされたコアとを示す断面図である。

【図 1 0】

本発明の一実施の形態である光導波路の製造方法におけるマスクング層とこれによりエッチングされたコアとを示す断面図である。

【図 1 1】

2 つのコアにより形成されるギャップとコアの線幅との関係を示すグラフである。

【図 1 2】

光導波路の分岐パターンとマスキング層との関係を示す説明図である。

【図 13】

本発明の他の実施の形態である光導波路の製造方法におけるマスキング層とこれによりエッチングされたコアとを示す断面図である。

【図 14】

2 種類のカットオフ波長に対する比屈折率差とコアの幅・高さとの関係を示すグラフである。

【図 15】

3 次元チャンネル光導波路の分散特性を示すグラフである。

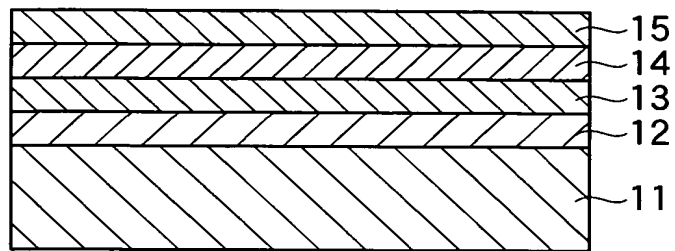
【符号の説明】

- 11 基板
- 12 下部クラッド層 (第1のクラッド層)
- 13 コア層
- 13a コア
- 14 メタルマスク層 (マスキング層)
- 15 フォトレジスト膜
- 16 フォトマスク
- 17 上部クラッド層 (第2のクラッド層)
- C1 中心位置
- C2 中心位置
- G ギャップ

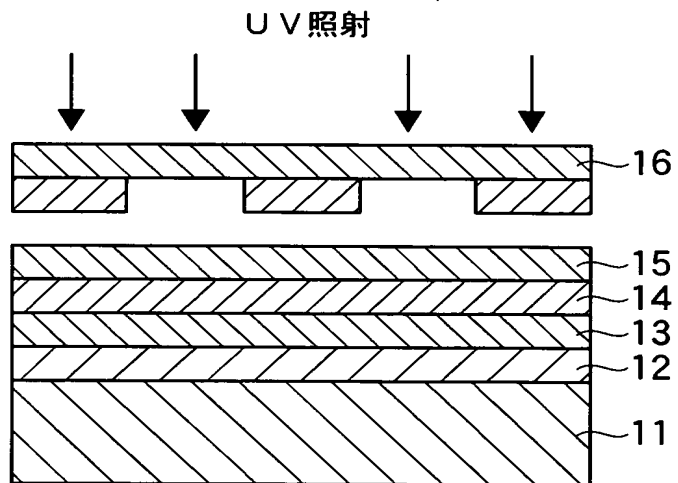
【書類名】

図面

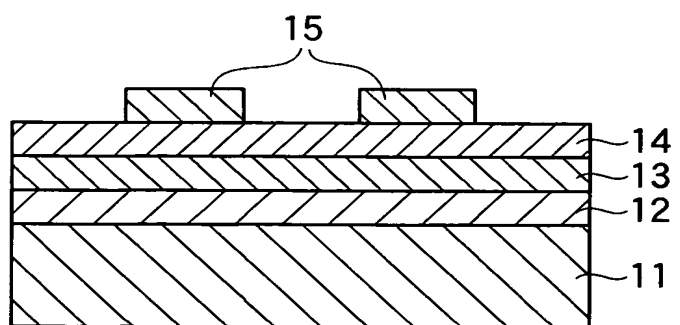
【図 1】



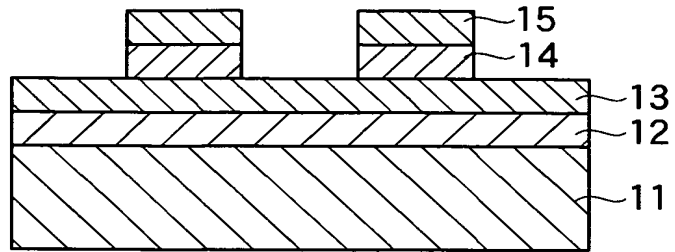
【図 2】



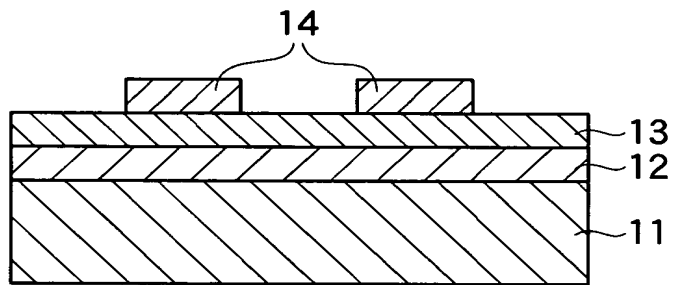
【図 3】



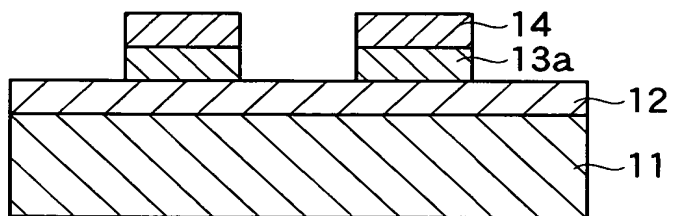
【図 4】



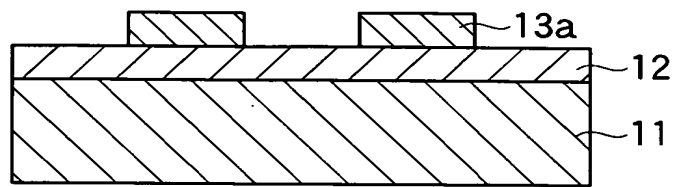
【図 5】



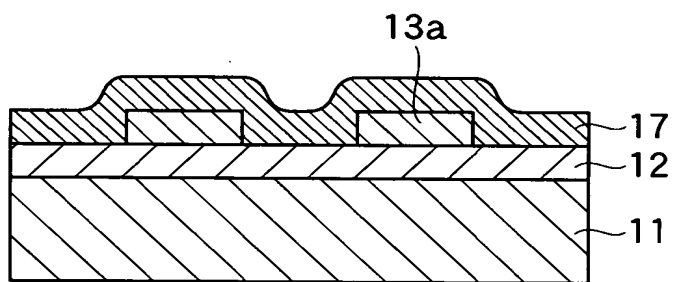
【図 6】



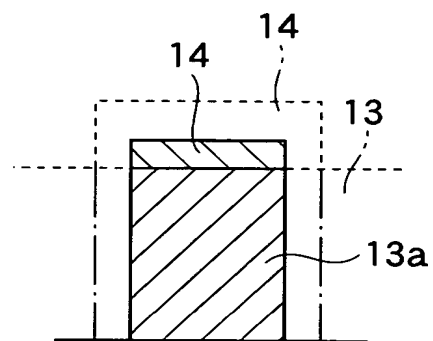
【図 7】



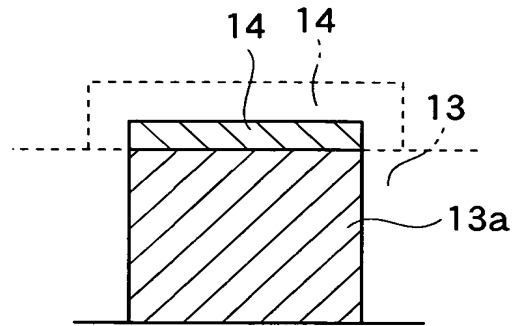
【図 8】



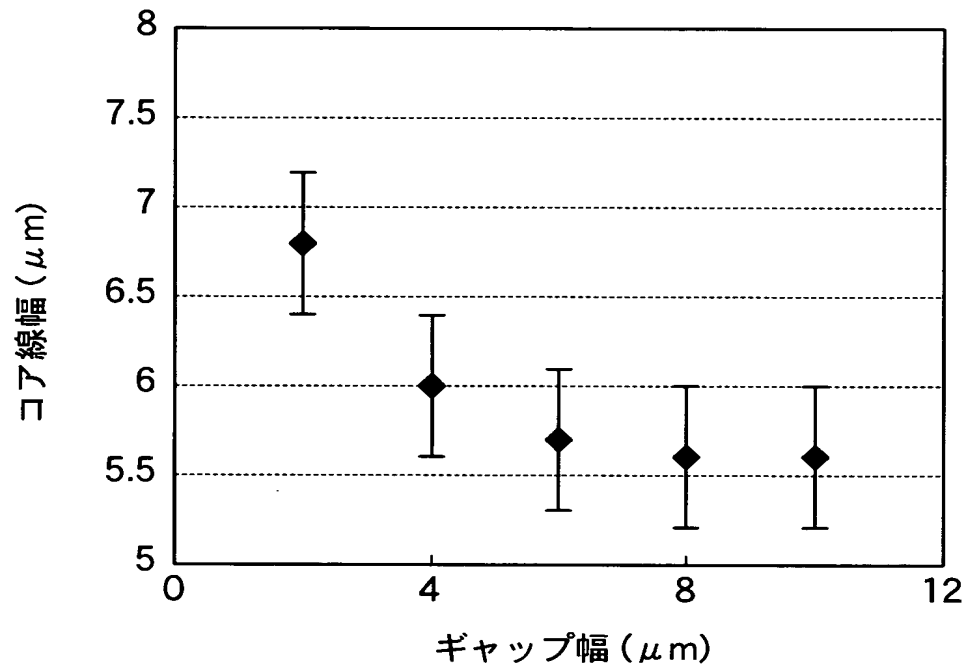
【図 9】



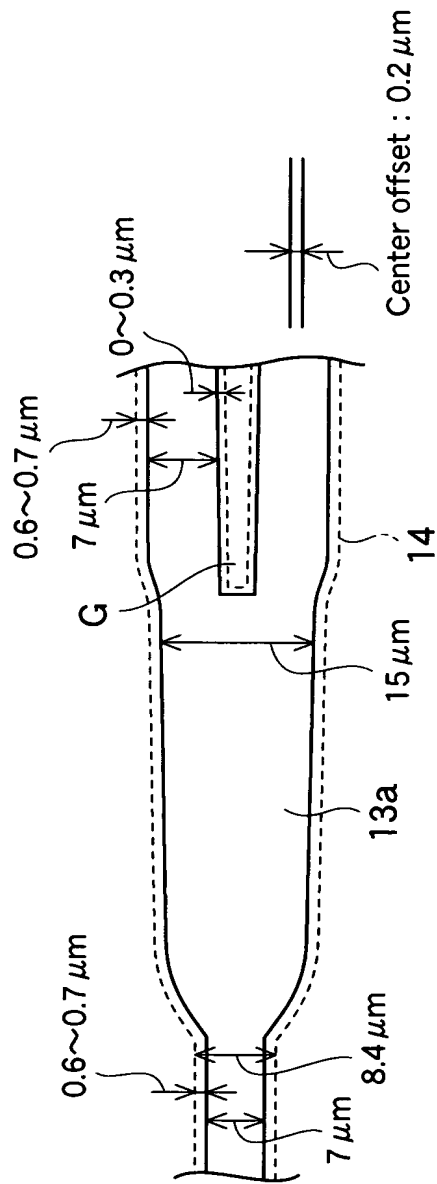
【図 10】



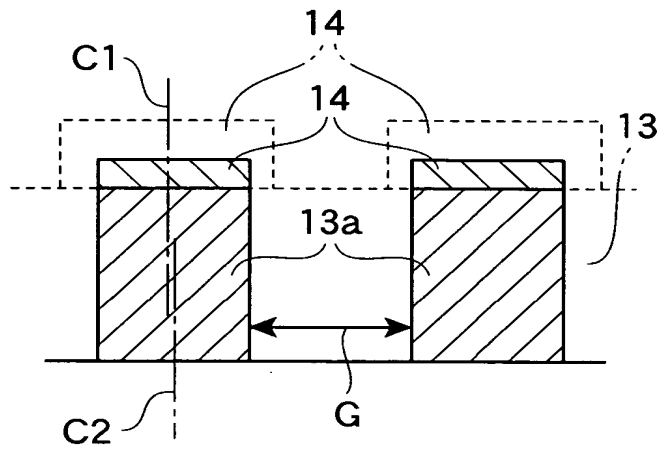
【図 11】



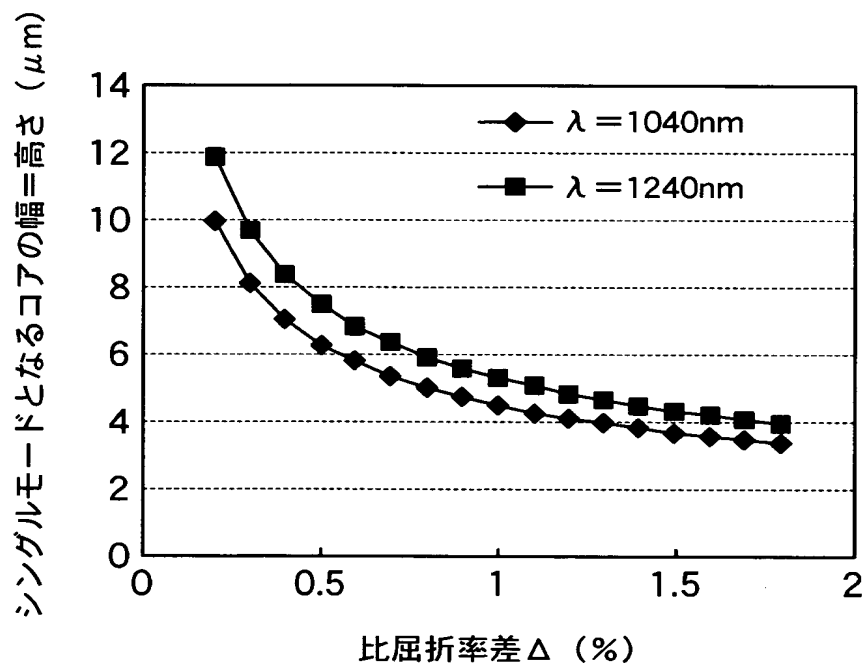
【図 12】



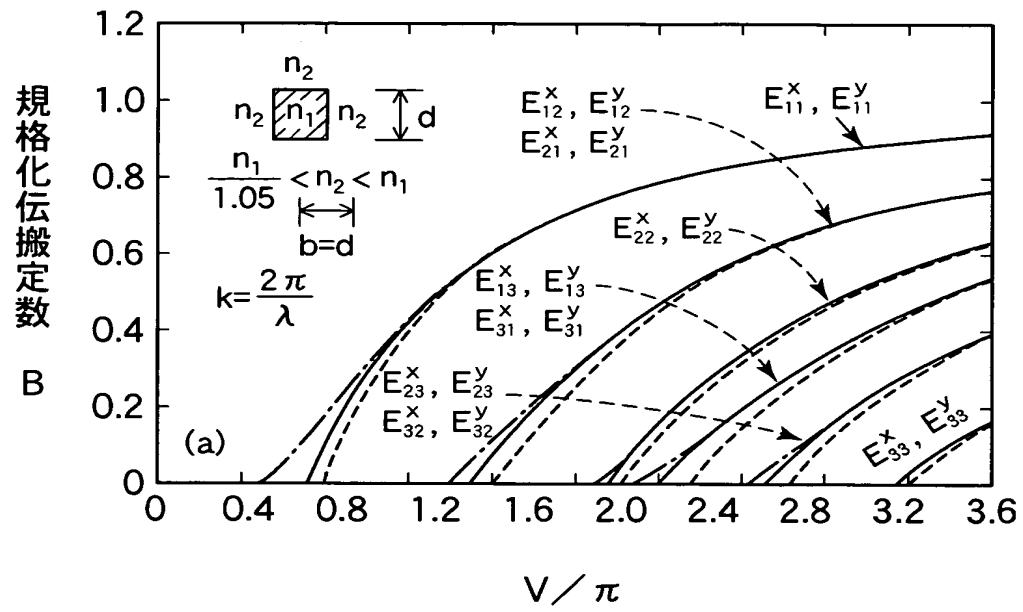
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光導波路のコアを、エッチング残渣を抑制しつつその幅を所望の寸法に形成できる製造方法を提供する。

【解決手段】 基板 11 上に下部クラッド層 12、コア層 13、メタルマスク層 14、フォトリジスト膜 15 を順次形成する工程と、フォトマスク 16 を用いてフォトリジスト膜 15 をパターニングする工程と、パターニングされたフォトリジスト膜 15 を用いてメタルマスク層 14 を所望の幅のコアよりも幅広くパターニングした後にフォトリジスト膜 15 を除去する工程と、パターニングされたメタルマスク層 14 を用いてコア層 13 をパターニングしてコア 13 a を形成した後にメタルマスク層 14 を除去する工程と、パターニングされたコア 13 a を被覆するようにして下部クラッド層 12 上に上部クラッド層 17 を形成する工程により光導波路を形成する。

【選択図】 図 10

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 7 7 3 4 6
受付番号	5 0 3 0 0 4 5 8 3 2 3
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 3 月 2 4 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成 15 年 3 月 20 日
-------	------------------

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 7 7 3 4 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 0 6 7]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 3 0 日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号
氏 名 ティーディーケイ株式会社
2. 変更年月日 2 0 0 3 年 6 月 2 7 日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号
氏 名 T D K 株式会社